遠藤次郎*・中村輝子*・長沢元夫*: フタバアオイの地理的変異について

Jiro ENDO*, Teruko NAKAMURA* & Motoo NAGASAWA*: Geographical variation of *Asarum caulescens* Maxim.

著者らはこれまでにフタバアオイ *Asarum caulescens* Maxim. [*Japonasarum caulescens* (Maxim.) Nakai] (ウマノスズクサ科) の精油に含まれる十数種のセスキテルペノイドについて化学構造を決定してきた[1]。多くの地域について検討した際，同植物は採集地域により精油組成が著しく異なり，また形態的にも多くの変異を持つことに気がついた。本報では，フタバアオイの分布するほぼ全域にわたる67か所において，成分および形態にみられる変異，特に(A)精油成分，(B)葉の大きさ，(C)気孔，(D)胚珠の数，(E)雄ずいの数について検討を加え，フタバアオイのもつ地理的変異性を明らかにした。

(A) 精油成分

材料および方法: 一群落中4-5個体について，各個体の組成含量が同一のパターンであることを確め，その地域のタイプとし，67か所について比較検討した。多くの地域では一群落内は同一のタイプであるが，稀には近接した小群落間または同一の群落内で異なるタイプがみられる混生地帯も存在した。地上部および地下部を比較すると組成含量に大差がない為，精油の収量の良い地下部（根茎および根）を材料とした。生品のクロロホルム冷浸エキスについて薄層クロマトグラフィーおよびガスクロマトグラフィー等を用いて検討し，その組成および含量を明らかにした。必要に応じてカラムクロマトグラフィー等により各々の成分を単離精製し構造決定を行なった[1]。また，十数か所の地域につき組成含量の季節的変化を追い，2-3例を除いてほとんど変化がみられなかったので採集時期は考慮しなかった。

結果: 精油成分のうち次のものが確認された。このうち * 印のものは本研究において初めて明らかにされた新化合物である。

Monoterpenoids; α-pinene, D-, L-limonene, 1, 8-cineol, linalool, linalyl-acetate, l-borneol, l-bornylacetate, γ-terpineol, terpinenol-4, geraniol, geranylacetate, nerol, nerylacetate, piperitone.

Sesquiterpenoids; (+)-germacrene-A*, germacratriene, γ-selinene, βselinene, germacrone, caulesol*, caulesylacetate*, selina-3, 7(11)-dien-8-one*, selina-4(14), 7(11)-dien-8-one*, 4-hydroxy-β-bulnesene*, furanocaulesone-A*, -B*, -C*, aoifuranone*, germacrone-4, 5-epoxide*, caulеslactone*2), caules-lactone-epoxids*2).

---

* 東京理科大学薬学部. Faculty of Pharmaceutical Sciences, Science University of Tokyo. Ichigaya Funagawara-machi, Shinjuku-ku, Tokyo.

本種の精油は一般に主成分が 50-60% を占め他の成分は少量ずつ存在するというパターンを示す。どの地域の精油も上記の 30 種前後の成分を多少なりとも含有するが，その組成含量が著しく異なる。微量成分のうち，2, 3 の成分 (piperitone と l-borneol, germacratriene と selinenone 等) にも地理的クラインがみられるが，変異の最も明瞭にあらわれる主成分に着目すると 5 つの chemotype に分けることができる (Fig. 1, Table 1)。

① Caulesol Type: Caulesol を主成分とする。関東西北部，中部，近畿，中国，九州地方にわたり最も広く分布する。

② Selinenone Type: Selina-3, 7 (11)-dien-8-one および selina-4 (14), 7 (11)-dien-8-one を主成分とする。山梨県七面山，精進，静岡県愛鷹山，猫越，徳島県平野に局限して分布する。但し，七面山，精進では①と混生し，猫越では caulesol と，愛鷹山では caulеslactone との混合主成分を示した。

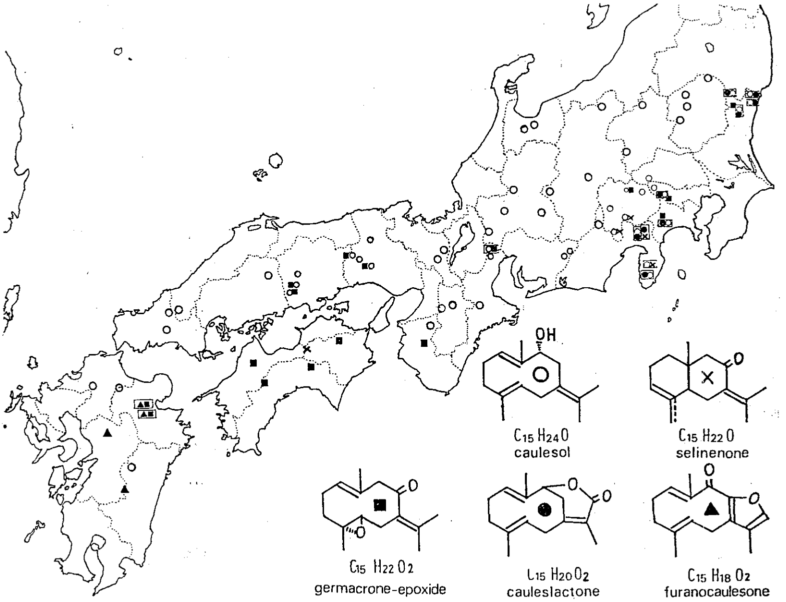

Fig. 1. Distribution of chemotypes in *A. caulescence* (open square; mixture).

③ Germacrone-epoxide Type: Germacrone-4, 5-epoxide を主成分とし，同時に germacrone も主成分の 20-30% の割合で含有する。境界地域9地域で①との混生地帯がみられた。

④ Causeslactone Type: 他のタイプと異なり causeslactone と caulesol の混合主成分の形が基本型となっている。関東地方東部に分布する。但し，静岡県愛鷹山では causeslactone と selinenone との混合主成分の型を示した。

⑤ Furanocaulesone Type: Furanocaulesone-A を主成分とする。九州中〜南部に分布する。大分県水口山，福万山では germacrone-epoxide との混合主成分をなし，四国地方の③のタイプとの移行型を示している。

主成分のうち caulesol が最も基本的な化学構造を有する。他の4主成分は caulesol より酸化されており，その酸化の度合いは次に示す通りである。但し②〜⑤の番号は生合成的な経路を示したものではない。①caulesol $C_{15}H_{24}O$, ②selinenone $C_{15}H_{22}O$, ③germacrone epoxide $C_{15}H_{22}O_2$, ④causeslactone $C_{15}H_{20}O_2$, ⑤furanocaulesone $C_{15}H_{18}O_2$.

基本となる①の chemotype に比し，より酸化された chemotype ②,③,④,⑤ が九州，四国，伊豆，関東東部を中心とした太平洋側に分布している。

（B）　葉の大きさ

材料および方法：フタバアオイは発芽してのち花が咲くまでに数年間を要し，発育段階に応じた葉を生じる。今回の観察においても，花が咲かない個体では一つの節から一枚の葉を出すもの，小型の二枚の葉を出すものなど，いくつかの形態が観察された。この為，一定の発育段階にある実験材料を得る必要より以下の条件を設けた。(1) 一つの節より二枚の葉を出す個体であること，(2) 花が咲いた個体であること，(3) 採集の時期は生長を終えた夏期とすること。一つの個体群の中でできるだけ広い範囲にわたり，前記の条件を満たす40-50個体の葉を採集あるいは葉の形を紙に写しとって実験材料とした。

葉の大きさは葉面積で表現することとし，葉面積計により計測した。また，通常一つの節より出る二枚の葉はやや大きさが異なるので，その面積の和を一個体の単位とし，個体群内の平均値を求め，34か所について比較検討した。

結果：以上の方法により得た結果を Table 1 に示す。さらに最大面積値に対する各面積値の割合を図示すると Fig. 2 が得られる。最大面積値に対する割合は次に示すとおりである。

① 70% を越える地域：茨城県男体山，花園，栃木県石裂山，川治，群馬県谷川岳，東京都高尾山，長野県飯山，三重県藤原岳，奈良県桜井，京都府小手石，広島県帝釈峡。

② 70-50%：茨城県大子，埼玉県三峰山，山梨県七面山，長野県諏訪，富山県大岩，

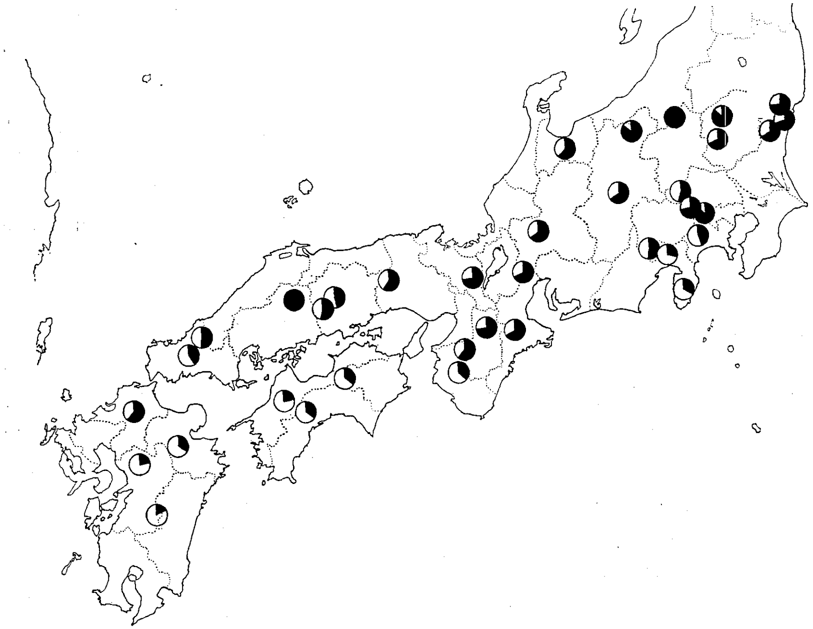

Fig. 2. Variation in area of leaf in *A. caulescence*. Solid circle shows the largest leaf (130 cm^2). The black section of the circle shows the average percentage per 130 cm^2 of leaf area.

岐阜県北山，三重県美杉，和歌山県高野山，兵庫県船越山，岡山県磐窟渓，山口県桐ヶ峠，福岡県宝満山。

③ 50-25%：神奈川県丹沢，静岡県愛鷹山，天城峠，和歌山県竜神，岡山県万才泉，山口県徳地，徳島県平野，高知県奥名野川，大分県水口山。

④ 25% 以下：愛媛県皿ヶ嶺，熊本県菊池，市房山。

以上のように東北から西南へ行くに従い，葉は小型化し，地理的クラインが認められた。

なお，葉形についても同時に検討した。横に広くなった葉（横/縦=1.95），縦に長くなった葉（横/縦=0.79）などの変異が観察されたが，地理的クラインは認められなかった。

（C）気孔

材料および方法：（A）と同様の材料についてスンプ法により気孔の数および大きさを測定した。スンプは葉の裏面数か所において作製したが，それらの間には有意差が認められなかったので測定は左下部 1 か所について行なった。数：一枚のスンプ中

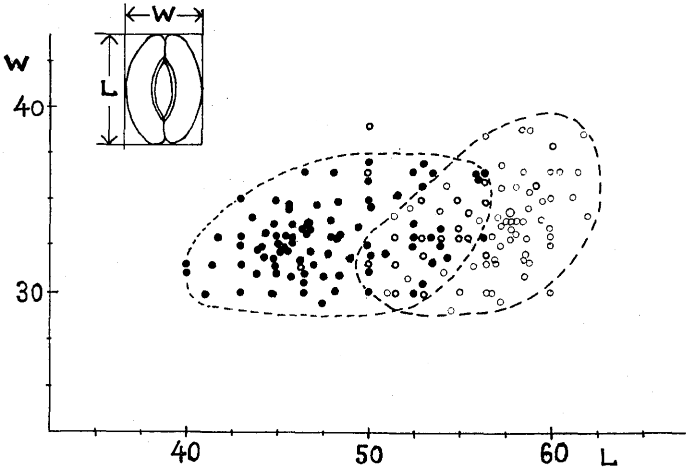

Fig. 3. Scatter diagram showing the variation in stomatal size with guard cells. Solid circles show the stomata of the materials from Mt. Ichifusa, open circles show those from Tai-shaku-kyo. L; length (μ), W; width (μ).

8か所において，顕微鏡 10×40 倍の視野中に観察される気孔の数を数え，これらの総和を求めた。一群落中 30 個体について以上の作業を行ない，その平均値を求め 30 地域を比較した。大きさ：葉面積最大の広島県帝釈峡と最小の熊本県市房山のフタバアオイ各 10 個体について気孔の縦，横の長さを測り比較した。

結果：以上の方法により得た結果を Table 1 に示す。

気孔の数の概要は次のとおりである。

① 40 個台：茨城県花園，男体山，大子，栃木県川治，石裂山，群馬県谷川岳，埼玉県三峰山，東京都高尾山，長野県飯山，長野県諏訪，広島県帝釈峡，福岡県宝満山。

② 50 個台：東京都高尾山，神奈川県丹沢，山梨県七面山，岐阜県北山，三重県美杉，和歌山県高野山，京都府小手石，岡山県万才泉，磐窟渓，山口県徳地，桐ヶ峠。

③ 60 個台：静岡県天城峠，愛鷹山，和歌山県竜神，徳島県平野，高知県奥名野川，愛媛県皿ヶ嶺，大分県水口山，熊本県菊池，市房山。

また，気孔の大きさは縦の長さに有意差が認められ，帝釈峡のもののほうが市房山のそれより大きいことがわかった (Fig. 3)。

気孔の数および大きさの変異と葉面積の変異との間には相関性がみられ，葉が大きい集団では気孔が大きく，その数は少ない。葉が小さい集団では気孔は小さく，その数は多いという関係が推定される。葉が小さいものでは気孔の密度が高くなり葉の大きさの不足を補うものと思われる。

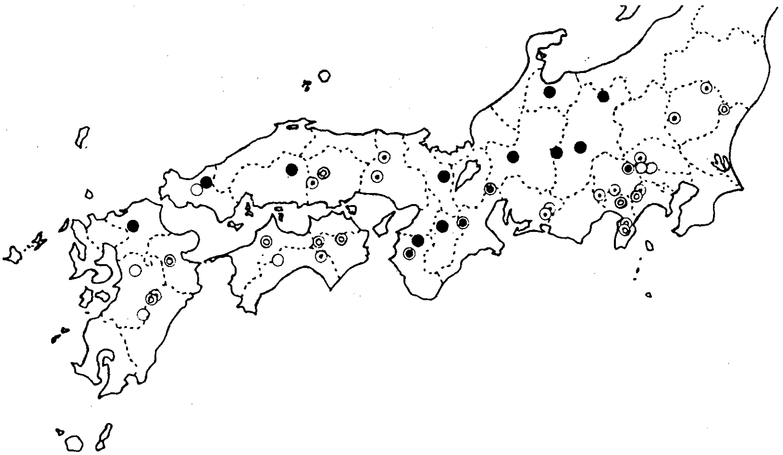

Fig. 4. Variation in numbers of ovules in *A. caulescence.* ○; 9-12, ◎; 12-15, ⊙; 15-18, ◉; 18-21, ●; 21- .

（D）胚珠の数

材料および方法：3-5月にかけて，一個体群から20-50個の花あるいは果実を採集し，その胚珠の数を数えて平均値を求め，43か所について比較検討した。

結果：フタバアオイの胚珠は1室に3個ずつが2列に並ぶ，従って1個も欠けることがなければ6室では36個になるが，実際にはこれより少ない (Table 1)。最大値と最小値の間を3ずつに区切り，9-12個（○)，12-15個（◎)，15-18個（⊙)，18-21個（◉)，21個以上（●）の5つのランクを設け，Fig. 4 を作製した。図からも明らかなように，胚珠の数の多い集団（●，◉）は中部，近畿，中国地方の一部，九州北部など日本海側に分布する傾向があり，胚珠の数の少ない集団（○，◎）は九州南部，四国，静岡，神奈川，さらには茨城へと分布し，紀伊半島内陸部を除いた太平洋側に主として認められる。紀伊半島には日本海型分布をする植物が進出する例は他にも多い。

なお，実験材料を集めた際に，一般にいわれている紅紫色の花以外に白花だけよりなる群落および両者の混生する群落を数か所で観察した (Table 1)。

（E）雄ずいの数

フタバアオイの雄ずいは6個ずつ計12個が内外の2輪に並ぶ。今回の観察においては外側の雄ずいが1-2，3本欠落あるいは癒合している例が数多く認められた (Table 1, Fig. 5, A-D)。この現象は西南の地方に多く見られ，中国，四国，九州地方のほとんどの集団では1群落中5-10％以上の割合で雄ずいの減少した個体が出現する。但し，長野，山梨，栃木などにも比較的高い頻度で雄ずいの減少化を示す地域が散在してい

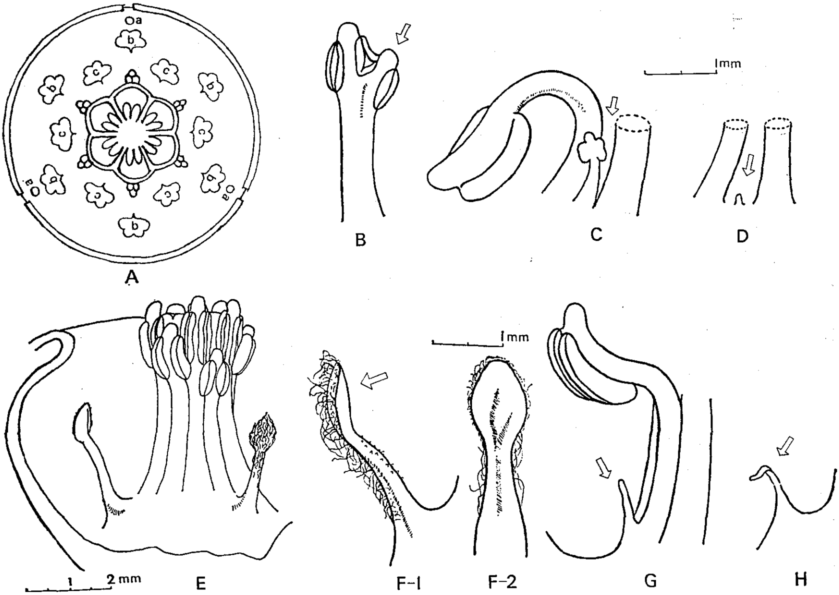

Fig. 5. A. Floral diagram of *A. caulescence*. a: reduced petal. b: outer whorl of stamens. c: inner whorl of stamen. B-D. Various types of staminodes. B, connate stamen. C and D, staminodes. E-H. Various types of reduced petals. E and F, large sized ones. E, cut-away view of the flower showing the portion of stamens and reduced petals. F-1, side view. F-2, dorsal view. G and H, vestigal ones. Arrow shows staminode or reduced petal.

る。

岡山県万才泉，山口県桐ヶ峠，徳島県平野，高知県梶ヶ森，奥名野川，熊本県菊池において，外側雄ずい輪のさらに外側に退化花弁らしき突起を認めた (Fig. 5, A, E-H)。これは他のカンアオイ類ですでに見い出されている仮雄ずいまたは退化花弁と同類のものである3)。この突起を有する個体の多くは外輪雄ずいに欠落をおこしているが，欠落のない 12 本のものもみられること，突起ががく裂片と互生した位置にしか認められないこと (Fig. 5) より，この突起は退化花弁と考えられる。なお，比較的大型のもの (Fig. 7-B) にも葯は見出されていない。これまでの観察ではこの現象は分布域の西南部に局限してみられる。

まとめ 各項で明らかにした精油成分，葉面積，気孔，雄ずいの数，胚珠の数についての地理的変異は極めて近似したパターンとなり，九州，四国，伊豆を中心とした地域で酸化，小型化，減少化がおこっていることがわかった。この分布域はいわゆる太平洋型（ソハヤキ型）分布およびそれがさらに東進した地域と一致する。

Table 1. Geographical variation examined in *A. caulescens*

Locality	Chemotype	Leaf area	Number of stomata	Color of lobe	Number of ovules	Reduction of stamen
Hanazono, Ibaragi Pref.	C+CL	95	42	—	—	—
Mt. Nantai, Ibaragi Pref.	C+CL	91	43	—	—	—
Daigo (1), Ibaragi Pref.	C+CL	—	—	—	—	—
Daigo (2), Ibaragi Pref.	G	87	44	W	13.7	0
Mt. Yamizo, Ibaragi Pref.	C+CL	—	—	—	—	—
Nasu, Tochigi Pref.	C	—	—	RP	15.8	13
Kawaji, Tochigi Pref.	C	113	44	—	—	—
Nikko, Tochigi Pref.	C	—	—	—	—	—
Mt. Ozaku, Tochigi Pref.	C	90	46	W, RP	15.7	6
Mt. Tanigawa, Gunma Pref.	C	130	44	—	—	—
Mt. Akagi, Gunma Pref.	C	—	—	—	—	—
Mt. Myogi, Gunma Pref.	C	—	—	—	—	—
Mt. Mitsumine, Saitama Pref.	C	70	44	RP	16.8	0
Nippara, Tokyo Pref.	C	—	—	—	—	—
Mt. Takao (1), Tokyo Pref.	G, C+CL	96	54	W	14.2	0
Mt. Takao (2), Tokyo Pref.	C+CL	113	46	W	19.8	—
Mts. Tanzawa, Kanagawa Pref.	G, C+CL	59	50	W	17.3	4
Kosuge, Yamanashi Pref.	C	—	—	RP	20.2	0
Nishizawa, Yamanashi Pref.	C, G	—	—	—	—	—
Aoki, Yomanashi Pref.	C	—	—	—	—	—
Mt. Ryugatake, Yamanashi Pref.	C, S	—	—	W	16.8	0
Syoji, Yamanashi Pref.	C	—	—	W	17.4	0

Mt. Shichimen, Yamanashi Pref.	C, S	69	55	RP	16.9	10
Amagi Pass, Shizuoka Pref.	C+CL	43	63	RP, W	14.2	4
Nekko, Shizuoka Pref.	C+S	40	—	RP, W	12.2	6
Mt. Ashitaka, Shizuoka Pref.	C+CL, C+S	40	65	W	14.3	0
Nakanosyuku, Shizuoka Pref.	C	—	—	—	—	—
Shimonane, Aichi Pref.	C	—	—	RP	16.4	7
Ikeba, Aichi Pref.	C	—	—	RP	14.9	2
Iiyama, Nagano Pref.	C	111	44	RP	23.6	0
Kisootaki, Nagano Pref.	C	—	—	RP	28.5	2
Suwa, Nagano Pref.	C	85	49	RP	22.6	35.7
Ohiwa, Toyama Pref.	C	80	—	RP	21	—
Yatsuo, Toyama Pref.	C	—	—	—	—	—
Mt. Ena, Gifu Pref.	C	—	—	—	—	—
Shiratori, Gifu Pref.	C	—	—	—	—	—
Kitayama, Gifu Pref.	C	86	52	—	—	—
Sekigahara, Gifu Pref.	C	—	—	—	—	—
Mt. Fujiwara, Mie Pref.	C, C+G	90	—	RP	20.2	2
Misugi, Mie Pref.	C	88	55	RP	18.6	2
Sakurai, Nara Pref.	C	95	—	RP	22	0
Mt. Kongo, Nara Pref.	C	—	—	—	—	—
Ryujin, Wakayama Pref.	G	49	60	RP	20.5	2
Mt. Kooya, Wakayama Pref.	C	80	55	RP	24.3	0
Kodeishi, Kyoto Pref.	C	89	50	RP	21	—
Kibune, Kyoto Pref.	C	—	—	—	—	—
Mt. Funakoshi, Hyogo Pref.	C, G	77	—	—	—	—
Yasutomi, Hyogo Pref.	C	—	—	—	—	—

Yamazaki, Hyogo Pref.	C, G	—	—	RP	15.8	0
Kamikobata, Hyogo Pref.	C	—	—	RP	14.9	—
Manzaiizumi, Okayama Pref.	C	63	50	RP	14.2	0
Kawakami, Okayama Pref.	C, G	—	—	—	—	—
Iwayakei, Okayama Pref.	C, G	70	52	RP	16.7	23
Taishakukyo, Hiroshima Pref.	C	130	40	RP	23.3	12
Kakigi, Shimane Pref.	C	—	—	—	—	—
Tokuji, Yamaguchi Pref.	C	55	50	RP	13.2	4
Kirigatao, Yamaguchi Pref.	C	67	51	RP, YG	23	23
Mt. Khotsu, Tokushima Pref.	G	—	—	RP	12.6	42
Tairano, Tokushima Pref.	S	43	60	RP	14.8	22
Kajigamori, Khochi Pref.	G	—	—	RP	16.4	10
Okunanokawa, Khochi Pref.	G	47	61	RP	11.8	8.6
Mt. Saragamine, Ehime Pref.	G	31	60	RP	14.8	8.3
Mt. Homan, Fukuoka Pref.	C	77	47	RP	24.2	2
Mt. Hiko, Fukuoka Pref.	C	—	—	—	—	—
Mt. Fukuma, Ohita Pref.	F+G	—	—	—	—	—
Mt. Minakuchi, Ohita Pref.	F+G	45	61	RP	12.9	15
Mt. Shiraiwa, Miyazaki Pref.	C	—	—	W	13.9	17
Kikuchi, Kumamoto Pref.	F	32	63	RP	11.8	10
Mt. Ichifusa, Kumamoto Pref.	F	24	66	W	10.8	3.8

a) Chemotype: C, caulesol. CL, cauleslactone. G, germacrone-epoxide. F, furanocaulesone. b) Leaf area: average of population. c) Number of stomata: average of population. d) Color of lobe: W, white. RP, red purple. YG, yellow green. e) Number of ovules: average of population. f) Reduction in number of stamens: The percentage of the number of flowers whose stamens 9-11.

環境が破壊された地にササなどと混生する例もごく稀にみられたが，本植物の多くはブナ帯下部〜クリ帯上部の樹下，湿潤な地に群落をなして生育している。このように類似した条件下に生育しながらも，成分，形態の両面にわたり顕著な地理的変異を示している点が注目される。

本研究に際して終始御指導頂いた小野幹雄先生，有益な御助言を頂いた前川文夫，丸山巌，金井弘夫の諸先生方に深謝致します。また，腊葉の閲覧を許可された国立科学博物館，東京大学，東京都立大学，葉面積計を貸与された都立大学生態学教室，採集に御協力頂いた各地の植物研究家諸氏に謝意を表します。なお石川経済研究所長•石川士郎氏よりの経済的援助に対し御礼申し上げます。

引用文献

1) 遠藤次郎•荻野達則•長沢元夫，薬誌 **92**: 874 (1972)； 遠藤次郎•長沢元夫，薬誌 **94**: 1574 (1974)； 遠藤次郎，薬誌 **95**: 1321 (1975). 2) 薬誌投稿中. 3) 前川文夫 植物と自然 **6**(4): 7 (1972)； 前川文夫 植研 **12**: 28 (1936).

Summary

Chemical and morphological analyses were undertaken in an effort to illustrate the variability of *Asarum caulescence* Maxim. Similar trend was observed in the variation pattern of chemotypes, leaf area, number of stomata, number of ovules and reduction of stamens. It is noteworthy that a conspicuous differentiation was recognized in the populations from Pacific side of Japan.

□草川 俊: **田園博物誌** pp. 262+IX. 朝日新聞社，東京，大阪，北九州，名古屋，(1976. I.)，¥800。50種類の野菜について，各種ほぼ5ページずつ割当てて，名前の五十音順に記事を書き，1枚ずつ割に要を得た挿図を加えたもので，そのねらいは家庭の主婦と学生という。しかし夫々の逸話や思い出からはじまって，原産地や栽培の経過や変遷，語源や主な品種，植物学的な記載も簡単に加えて，文学的背景や病害，予防，それに食べ方まで，簡にして潔といったてきぱきした文章で綴ってあるので，中々色々な事が教えられるし，肩がこらずに読める。中にはカタクリやホウキグサのような珍らしいものも加えられている。博物誌とあるが，野菜，果物で植物だけである。矢野勇氏の写真集と一書になっていたらと思うのは抄録者の偏見か否か。記事中，たとえば，イチゴの條下に清少納言の枕草子のイチゴが併記されて誤解を生み易いなどは直してほしい。

(前川文夫)